

А. В. Чупаев, Р. Р. Галямов, А. А. Гайнуллина,
В. В. Кузьмин

ПРИМЕНЕНИЕ ТРУБКИ ПОЛНОГО НАПОРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКОВ

Ключевые слова: закрученный поток, трубка полного напора, продольный градиент давления.

В статье описана процедура и приведены результаты экспериментального исследования кинематической структуры турбулентных потоков с разными степенями локальной закрутки на входе в цилиндрический канал с применением в качестве инструмента трубки полного напора.

Keywords: swirling flow, total head tube, longitudinal pressure gradient.

The article describes the procedure and results of an experimental study of the kinematic structure of turbulent flows with different degrees of local twist at the entrance to the cylindrical bore using as a tool of the total head tube.

Изучение влияния положительного и отрицательного продольных градиентов давления на кинематическую структуру закрученных потоков проводилась на гидродинамическом стенде, описанном в [1, 2]. В качестве рабочих участков использовались два конуса с углами раскрытия 2° и 8° . В двух контрольных сечениях по длине опытных участков на различных расстояниях от входа просверливались отверстия диаметром 1,5 мм для введения измерительного зонда. В качестве рабочей среды использовалась дистиллированная вода. Измерения проводились при значении критерия Рейнольдса 103000.

Требуемые условия течения на входе в исследуемый канал обеспечивалось лопаточными направляющими аппаратами, смонтированными в поворотном диске. Для создания закрутки потока использовались три завихрителя, имеющие по 12 направляющих лопаток с конструктивным углом выхода φ_k соответственно 30° , 45° и 60° .

В опытах регистрировались: расход рабочей среды (по показаниям образцового расходомера), ее температура на входе в опытный участок (по показаниям образцового ртутного термометра с ценой деления шкалы $0,1^\circ\text{C}$), поля полного и статического давлений, а также углов скоса вектора скорости в трех различных сечениях опытного участка, отстоящих на различных расстояниях от источника закрутки.

Скорости измерялись с помощью одноканального приемника давления, чувствительного к повороту [3]. Он изготавливался из шприцевой иглы наружным диаметром 1,2 мм с толщиной стенки 0,2 мм. Приемное отверстие имело диаметр 0,4 мм и высверливалось на боковой поверхности иглы. Торцевое отверстие запаивалось. Радиальное и угловое перемещение приемника осуществлялось с помощью специального координатника. Точность радиального перемещения зонда $0,05$ м; угловое перемещение $0,5^\circ$. Показания приемника относительно опорного давления, отбираемого со стенки опытного участка в выбранной реперной точке, регистрировались водяным U - образным пьезометром с ценой деления шкалы 1 мм. Реперная точка выбиралась из расчета

получения оптимального перепада уровней жидкости в пьезометре и для каждой серии опытов была своей.

В предварительных экспериментах проводилась тщательная градуировка измерительного зонда. Для этих целей он совместно с координатником устанавливался в выходном сечении сопла, обеспечивающего равномерное поле скоростей и статического давления. Средняя скорость потока в горловине сопла вычислялась на основании показаний образцового расходомера.

Чувствительность к скосу потока устанавливалась следующим образом. Приемное отверстие зонда совмещалось с осью сопла и ориентировалось на встречу потоку. Выходной штуцер импульсной линии соединялся с одним из колен пьезометра. Другое колено пьезометра было связано с отверстием для отбора статического давления на стенке сопла в том же сечении.

При установившемся режиме течения жидкости в канале зонду придавалось угловое перемещение на половину окружности с остановками через каждый градус для снятия показаний пьезометра Δh . График зависимости Δh от угла поворота зонда α относительно оси канала, полученный при трех различных режимах течения показано на рис. 1.

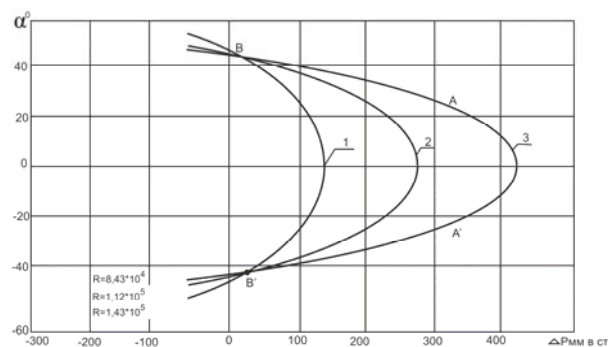


Рис. 1 - Зависимость показаний гидрометрического зонда от угла поворота оси приемного отверстия относительно направления вектора скорости

Анализ графика позволяет выделить следующие особенности:

1. при повороте оси приемного отверстия зонда на угол 47° относительно направлений потока, воспринимаемый импульс соответствует статическому давлению в мерном сечении (перепад на пьезометре в этом положении зонда равен нулю);
2. наименьшую чувствительность к изменению направления скорости потока зонд показывает в области максимального воспринимаемого импульса (сектор AA');;
3. наибольшая чувствительность наблюдается при изменении угла поворота на 20° и ниже относительно направления течения (сектор A8 и A6).

В соответствии с перечисленными особенностями измерительного зонда была принята процедура измерения локальных скоростей закрученных потоков.

В каждой контролируемой точке исследуемого канала зонд медленно поворачивался вокруг своей оси до положения, при котором его приемное отверстие воспринимает максимальный импульс давления. Однако, поскольку в секторе AA' рис. 1. зонд мало чувствителен к скосу потока, то здесь при установлении величины φ_i возможны большие погрешности. Для более точного определения направления скорости ось приемного отверстия смещалась относительно первого положения на угол 20° . Фиксировалось показание пьезометра в этом новом, втором положении зонда. Далее производилось медленное угловое перемещение в обратном направлении до повторения показания пьезометра, зафиксированного во втором положении.

Отклонение биссектрисы угла между вторым и третьим положениями измерительного зонда относительно оси канала принималось за искомую величину. Погрешность в определении значения φ_i таким способом по данным проверочных измерений не превышала $\pm 1^\circ$.

Для определения давления торможения в каждой контролируемой точке приемное отверстие зонда ориентировалось под соответствующим углом к оси канала. Местное статическое давление фиксировалось при отклонении оси приемного отверстия на угол 47° от этого положения. Опорное давление, подаваемое на пьезометр, в общих случаях оставалось неизменным.

По измеренным на разных расстояниях от стенки канала значениям давления торможения, статического давления т углов φ_i определились локальные значения вектора скорости ω_i и его составляющих ω_{xi} , $\omega_{\varphi i}$. Строились эпюры распределения этих величин.

В каждом контрольном сечении эпюра снималась дважды. Это делалось во избежание неточности отдельных измерений. Результаты осреднялись.

Влияние на кинематическую структуру закрученных потоков положительного и отрицательного продольного градиента давления, обусловленного геометрией канала, показано на рисунках 2, 3, 4, 5.

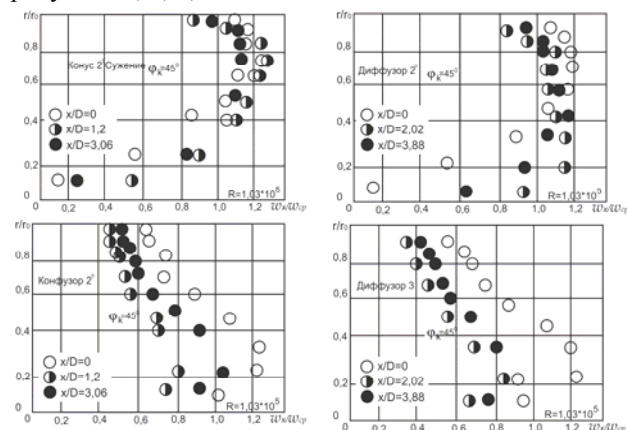


Рис. 2 - Влияние отрицательного и положительного продольных градиентов давления на кинематическую структуру закрученных потоков

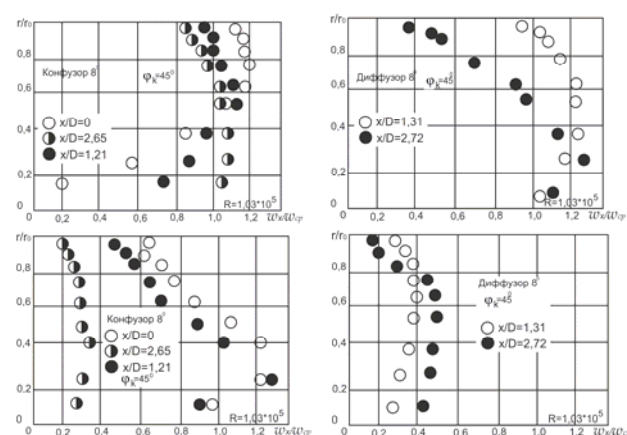


Рис. 3 - Влияние отрицательного и положительного продольных градиентов давления на кинематическую структуру закрученных потоков

Под действием отрицательного продольного градиента давления происходит заполнение поля осевой составляющей скорости в центральной части канала. В непосредственной близости от стенки значение ω_x уменьшается с удалением от направляющего аппарата (рис. 2, 3).

Сужение проточной части канала приводит к уменьшению значений тангенциальных компонентов вектора скорости и к более равномерному их радиальному распределению. Положение имеет тенденцию к смещению в сторону оси. Указанные эффекты усиливаются с увеличением угла конусности.

Положительный продольный градиент давления также приводит к уменьшению градиента осевой составляющей скорости канала и к смещению максимального ее значения в сторону оси вращения.

Радиальное распределение тангенциальных компонентов в диффузоре с углом раскрытия 2° носит то же характер, что и в конфузоре с тем же углом конусности.

Изменение кинематической структуры потока в сужающихся и расширяющихся конических каналах при различной степени начальной закрутки иллюстрируют рис. 4 и рис. 5.

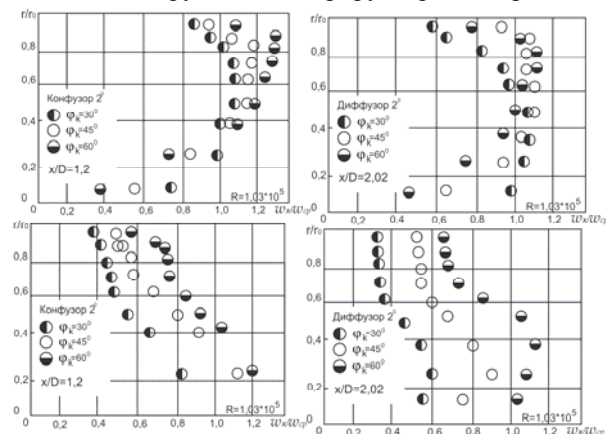


Рис. 4 - Изменение кинематической структуры потока в сужающихся и расширяющихся конических каналах с углом раскрытия 2° при различной степени начальной закрутки

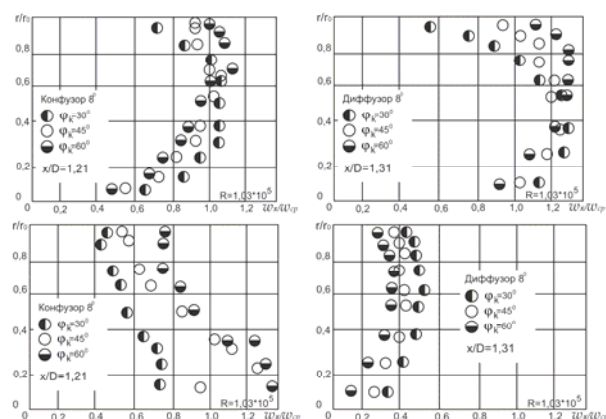


Рис. 5 - Изменение кинематической структуры потока в сужающихся и расширяющихся конических каналах с углом раскрытия 8° при различной степени начальной закрутки

В сужающемся канале с углом конусности 2° с увеличением интенсивности начальной закрутки от 30° до 60° происходит увеличение максимального значения осевой составляющей вектора скорости с одновременным смещением по направлению к стенке. В приосевой области значения осевых компонентов уменьшаются. Значения тангенциальных составляющих возрастают по всему радиусу канала.

В конфузоре с углом конусности 8° наблюдаются изменения, аналогичные отмеченным выше. Но для профиля осевых составляющих они менее интенсивны, чем для тангенциальных.

Увеличение интенсивности закрутки потока на входе в диффузор с углом раскрытия 2° приводит к тому, что величины на осевых компонентах скорости в центральной части канала уменьшаются, а в пристеночной области увеличиваются. При угле раскрытия 8° наблюдается обратная картина.

При увеличении угла конусности проточной части интенсивность роста окружной составляющей вектора скорости с увеличением φ_k уменьшается.

Литература

1. Пустовойт Ю.А. и др. Экспериментальное исследование процесса затухания закрутки потока в цилиндрическом канале / Ю.А. Пустовойт, А.В. Фафулин, В.В. Кузьмин. Депонировано в ВИМИ.
2. Кузьмин В.В. и др. Установка для метрологического обслуживания, динамических испытаний и газодинамических исследований преобразователей расхода / В.В. Кузьмин, А.А. Гайнуллина, А.Н. Ахмерова. Вестник КНИТУ. -2013. № 10. - с. 289-292.
3. Кузьмин В.В. и др. Бесконтактные методы диагностики кинематической структуры потоков жидкостных и газовых сред / В.В. Кузьмин, А.А. Гайнуллина, А.Н. Ахмерова. Вестник КНИТУ. -2013. № 11. - с. 75-79.